

# Seguimiento y estimación de trayectorias

Juan Cortabitarte<sup>1</sup>, Pablo Novarini<sup>2</sup>, Marcelo Naiouf<sup>3</sup>, Armando De Giusti<sup>4</sup>

*Instituto de Investigación en Informática (III-LIDI) – Facultad de Informática – UNLP  
Calle 50 y 115 – Primer Piso – La Plata (1900) – Buenos Aires – Argentina (+54 221 422 7707)*

## RESUMEN

Se estudia el problema de seguimiento y estimación de las trayectorias realizadas por un conjunto de entidades en movimiento en un escenario. La entrada al sistema la constituyen imágenes capturadas de la escena de interés.

Se analizan las etapas del sistema y los algoritmos que deben aplicarse en cada una de ellas para un caso concreto, donde el movimiento de los objetos es rectilíneo uniforme y éstos no poseen características que permitan identificarlos entre sí.

El reconocimiento de las trayectorias realizadas por los objetos se efectúa en función de las posiciones ocupadas por éstos a lo largo de la secuencia de frames buscando minimizar una función que determina la desviación de una trayectoria. Las trayectorias de cada objeto se actualizan con cada nuevo frame que ingresa al sistema.

La estimación del recorrido futuro de un objeto se realiza a partir de su recorrido previo modelando el movimiento en cada uno de los ejes de coordenadas mediante una función lineal.

Se presentan resultados obtenidos para un modelo de una máquina y una cámara, y se analizan extensiones del mismo para otros modelos, tipos de movimiento y arquitectura de cómputo paralelo.

**Palabras claves:** Seguimiento de trayectorias - predicción - visión artificial - procesamiento paralelo - tiempo real

---

<sup>1</sup> Ayudante diplomado - dedicación simple.

<sup>2</sup> [pnovarini@lidi.info.unlp.edu.ar](mailto:pnovarini@lidi.info.unlp.edu.ar) - Ayudante diplomado -semi dedicación.

<sup>3</sup> [mnaiouf@lidi.info.unlp.edu.ar](mailto:mnaiouf@lidi.info.unlp.edu.ar) - Profesor Titular UNLP.

<sup>4</sup> [degiusti@lidi.info.unlp.edu.ar](mailto:degiusti@lidi.info.unlp.edu.ar) - Profesor Titular UNLP. Investigador Principal del CONICET.

## 1. Introducción

Existe una amplia gama de aplicaciones en donde es necesario resolver el problema de seguimiento y estimación de las trayectorias realizadas por un conjunto de entidades u objetos en movimiento. Entre ellas podemos mencionar el guiado asistido de vehículos, el seguimiento de misiles mediante el uso de radares, el análisis del movimiento de espermatozoides en una muestra de semen, las competencias de fútbol robótico, etc. [GAR00] [GAR01] [CUF02]

Por seguimiento de trayectorias nos referimos a la acción de identificar el recorrido realizado por cada una de las entidades de interés dentro del escenario analizado. La estimación de trayectorias consiste en utilizar la información correspondiente a los recorridos identificados junto con un modelo del movimiento de los objetos para predecir sus recorridos futuros [VEE98] [VEE01].

Más allá de la variedad de situaciones y de las características propias de cada problema particular, en cualquier sistema de seguimiento y estimación de trayectorias podemos identificar a grandes rasgos 4 etapas.

- La captura de datos.
- El proceso de identificación de las entidades de interés.
- El armado de las trayectorias.
- El proceso de estimación de las trayectorias futuras

Los datos ingresados al sistema constituyen una representación de la realidad sobre la cual se debe trabajar. La información de entrada está constituida por una secuencia de imágenes digitales (frames) capturadas a través de un sensor óptico (cámara). En la mayoría de los casos debe realizarse un pre-procesamiento a los datos capturados con el fin de mejorar la calidad de los mismos. Cuando se trabaja con imágenes digitales existen numerosos problemas relacionados con la captura, entre los cuales podemos mencionar el ruido, malas condiciones de iluminación, distorsiones geométricas provocadas por la lente de la cámara o debido a la perspectiva, imagen borrosa o fuera de foco, etc. Es necesario aplicar a la imagen capturada un conjunto de algoritmos con el fin de obtener una nueva imagen que resulte más adecuada para el procesamiento posterior. [PRA91] [GON96]

La identificación de los objetos de interés requiere la aplicación de algoritmos de segmentación de imágenes. Existen numerosas técnicas de segmentación, y cada una resulta adecuada bajo determinadas condiciones de las imágenes de entrada [PRA91] [GON96]. En cuanto al reconocimiento de los objetos, pueden darse dos situaciones:

- a) los objetos poseen características que permiten identificarlos unívocamente, tales como forma, tamaño, intensidad, etc. Estas cualidades pueden ser calculadas durante la segmentación.
- b) los objetos no poseen características que permitan distinguirlos entre sí. En este caso, el proceso de segmentación encuentra el conjunto de objetos dentro de la escena, pero no identifica individualmente a cada uno de ellos.

El armado de las trayectorias consiste en reconocer el recorrido de cada objeto a lo largo de la secuencia de frames. Si durante la segmentación se logra identificar a cada objeto, este paso es trivial. Por el contrario, si los objetos no poseen características distintivas que permitan identificarlos en el momento de la segmentación, el armado de las trayectorias debe hacerse en función de las posiciones ocupadas por ellos en cada uno de los frames. En este caso debe establecerse la correspondencia entre el conjunto de objetos encontrados en dos frames

consecutivos en función de las coordenadas que representan sus ubicaciones en el escenario analizado. [VEE98] [VEE01]

El último paso consiste en utilizar la información de las trayectorias armadas hasta el momento para predecir como continuará cada una de ellas. El error cometido en la estimación de la trayectoria de un objeto depende de diversos factores. En primer lugar, está influenciado por la información que se disponga acerca de la trayectoria previa. Es claro que cuanto más exacta sea dicha información, los resultados obtenidos a partir de ella serán más precisos. Por otro lado, cuanto mayor conocimiento se disponga acerca de las características del movimiento de un objeto, se podrá realizar una estimación más exacta de su movimiento. Si un objeto se mueve realizando una trayectoria circular, y se predice el recorrido futuro suponiendo que la trayectoria es lineal, la estimación resultará en un fracaso. Por lo tanto es importante el conocimiento que se disponga acerca de las características del movimiento para poder modelarlo con la mayor exactitud posible.

Es importante destacar que las técnicas que se aplican en cada una de las etapas mencionadas varían notablemente de acuerdo a las características de cada problema concreto.

En el caso general, los algoritmos para resolver el problema de estimación de las trayectorias implican una alta carga de procesamiento, además de que se deben considerar restricciones de tiempo real, y la velocidad de la arquitectura de cómputo puede no ser suficiente para realizar un muestreo adecuado para la estimación. Por estos motivos, surge naturalmente la posibilidad de utilizar un sistema paralelo para la resolución del problema. Este hecho se acentúa si se considera el caso de contar con más de una cámara.

## **2. Problema investigado**

En la introducción se presentó de una forma general el problema de seguimiento y estimación de trayectorias, y se mencionaron las etapas involucradas en su resolución. Cuando se desea resolver un problema de este tipo, las decisiones que se realicen deberán ser tomadas en función de las características particulares del problema concreto. A continuación se detallan las características del problema analizado.

### **2.1. Modelo del problema analizado**

El escenario donde se mueven los objetos de interés puede ser capturado completamente por una o más cámaras estáticas en un plano paralelo a una determinada altura. De esta forma se trabaja en un espacio de dos dimensiones en lugar de tres, usando la proyección de los objetos sobre el plano por el cual se deslizan. El eje de coordenadas queda entonces determinado por el plano donde quedan proyectados los objetos.

Los objetos a seguir no poseen características que permitan diferenciarlos entre sí, es decir, son objetos similares. El color de los objetos es bien diferenciado al color del fondo, las figuras correspondientes a los objetos son oscuras y el fondo sobre el cual se desplazan es claro. Esto último facilita la etapa de segmentación.

En cuanto a las características del movimiento, los objetos se desplazan en forma lineal a velocidad constante (movimiento rectilíneo uniforme) dentro de la escena, pudiendo desaparecer de ella de forma temporal o definitiva por excederse de los límites captados por el dispositivo de captura.

## **2.2. Captura de las imágenes**

Las imágenes que se adquieren de la escena son capturadas por una cámara ubicada sobre ella. Además de los problemas que suelen surgir normalmente durante la adquisición de las imágenes (ruido, mala iluminación, imagen fuera de foco, etc.), los cuales deben ser corregidos en la mayor medida posible antes del procesamiento de los datos, pueden aparecer deformaciones geométricas debidas a la ubicación de la cámara con respecto a la escena. Al estar la cámara ubicada por sobre el plano capturado y debido a la perspectiva, dos segmentos de igual tamaño ubicados uno en el centro del plano y otro en el extremo más lejano capturado por la cámara pueden parecer de distinto tamaño en la imagen capturada. Este tipo de deformaciones se debe entre otras cosas a que la imagen obtenida es una proyección en dos dimensiones de una porción del espacio real en 3 dimensiones. A las técnicas que solucionan este tipo de problema se las conoce bajo el nombre de calibración de la cámara.

## **2.3. Proceso de identificación**

Trabajamos en un escenario donde la intensidad luminosa de los objetos es muy diferente a la del fondo. En este tipo de situaciones es posible aplicar la técnica de umbralización, la cual consiste en establecer un valor llamado umbral de tal manera que todos los pixeles con valor inferior a éste correspondan a algún objeto y aquellos con valor superior correspondan al fondo. El valor del umbral puede establecerse previamente mediante un estudio de las imágenes. De esta forma puede obtenerse una nueva imagen bivaluada o binaria donde los pixeles correspondientes al fondo se rotulan con el valor 0 y aquellos que corresponden a algún objeto se rotulan con el valor 1.

## **2.4. Proceso de seguimiento**

El seguimiento de trayectorias consiste en identificar la trayectoria realizada por cada uno de los objetos de la escena a lo largo de la secuencia de frames. El primer problema que se debe resolver es el de la identificación de las entidades en movimiento de la escena. Un objeto encontrado en un frame debe ser reconocido como el mismo objeto en los frames subsiguientes. Se establece entonces una correspondencia entre los objetos encontrados en la secuencia de frames. El proceso de correspondencia consiste en identificar el mismo objeto en uno o más frames y determinar los cambios en su ubicación. Realizando la correspondencia de los objetos en la secuencia de frames ordenada temporalmente se determina el movimiento de cada uno de ellos dentro de la escena.

Si los objetos a los cuales se les está realizando el seguimiento poseen características que permiten diferenciarlos entre ellos sin confusión, el proceso de correspondencia es trivial, ya que en cada frame los objetos se reconocen por atributos que pueden ser determinados durante el proceso de segmentación. Entre tales atributos podemos mencionar el tamaño, la forma, la intensidad luminosa promedio del objeto, el perímetro, etc.

Si por el contrario, los objetos no poseen características que permitan distinguirlos entre sí, debe realizarse la correspondencia en función de la posición ocupada por los objetos en la escena. Es decir, dado el conjunto de objetos encontrados en el frame  $i$  y el conjunto encontrado en el frame  $i+1$  se realiza una correspondencia entre los objetos del primer y segundo conjunto basándose en sus coordenadas en cada frame y en ciertas características y suposiciones acerca del movimiento de los objetos.

La situación que enfrentamos en este trabajo es la segunda, ya que los objetos a seguir no poseen características que permitan distinguirlos entre ellos.

### 3. Trabajo realizado

Con el objetivo de enfocarnos en el estudio de los algoritmos que resuelven el problema de seguimiento y estimación de las trayectorias, en este trabajo utilizamos secuencias de imágenes generadas por herramientas automáticas en lugar de tomar imágenes de la realidad con un dispositivo de captura. Esto permite simular diversos tipos de situaciones de una forma fácil y analizar el comportamiento de los algoritmos de seguimiento y predicción de una forma más precisa, ya que en cada caso las trayectorias de los objetos son perfectamente conocidas.

Al trabajar de esta forma la información que se procesa no ingresa en tiempo real al sistema ya que se encuentra generada previamente en formato de video mpeg. A pesar de que los frames son obtenidos de un archivo almacenado en memoria secundaria se simula el comportamiento de un dispositivo de captura en tiempo real. A una determinada frecuencia de muestreo, un proceso obtiene del archivo el siguiente frame y lo deja en memoria principal para su procesamiento. Se trabaja entonces de la misma forma que si se tuviera un dispositivo de captura en tiempo real que adquiere nuevos datos cada cierto intervalo de tiempo.

#### 3.1. Mejora de la imagen

Los algoritmos de mejora de la imagen que deben aplicarse luego de la adquisición dependen de las características propias de cada problema particular. En este trabajo se utilizan imágenes generadas "artificialmente", por lo tanto los algoritmos que se necesitan aplicar en esta etapa dependen de la calidad de las imágenes creadas. Aunque pueda parecer innecesario a los fines de este trabajo, las imágenes son generadas con la existencia de ruido impulsivo. El objetivo es que a pesar de que no trabajemos con imágenes reales, en el modelo de solución planteada estén todos los pasos que existen en un caso real. Para eliminar el ruido impulsivo, se realiza un filtro por la mediana.

#### 3.2. Identificación de los objetos

Previamente se mencionó que dadas las características del problema es posible obtener a partir de un frame una imagen bivaluada en la cual los píxeles que corresponden al fondo tengan valor 0 y aquellos que corresponden a algún objeto tengan valor 1. A partir de esta imagen puede aplicarse un algoritmo de etiquetado para obtener el conjunto de píxeles que corresponde a cada uno de los objetos existentes en la escena. El etiquetado es una técnica que consiste en analizar la conectividad de píxeles vecinos y marcar con una misma etiqueta al conjunto de píxeles similares y conexos. Como resultado del proceso de etiquetado cada una de las regiones existentes en la imagen queda marcada con una etiqueta distinta.

De la salida del algoritmo pueden eliminarse aquellos objetos cuya superficie sea inferior a un umbral determinado, para evitar que posibles manchas en la imagen originadas por sombras, ruido u otros factores sean consideradas como objetos.

Una vez que se tiene el conjunto de píxeles que conforma a cada uno de los objetos encontrados es necesario determinar sus coordenadas dentro de la escena. Para ello se calculan las coordenadas del centro de masa ( $c_x, c_y$ ) de cada objeto de acuerdo a las siguientes fórmulas:

sean  $P_1 = (x_1, y_1)$ ,  $P_2 = (x_2, y_2)$  ....  $P_n = (x_n, y_n)$  los píxeles que forman al objeto.

$$cx = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \qquad cy = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

La salida del proceso de identificación es una lista con las coordenadas de cada uno de los objetos encontrados en el frame procesado.

### 3.3. Seguimiento de trayectorias

Tras procesar cada frame el proceso de identificación obtiene un conjunto de coordenadas que corresponde a la ubicación de los objetos encontrados dentro de la escena. El seguimiento de trayectorias consiste en enlazar las coordenadas de los objetos a lo largo de toda la secuencia de frames formando una trayectoria para cada uno de ellos. El conjunto de objetos de la escena puede variar de un frame al siguiente debido a que alguno puede desaparecer por excederse de los límites de la imagen y pueden aparecer otros nuevos a partir de un determinado frame. También debe considerarse la posibilidad de fallas en el proceso de identificación. Puede ocurrir que en un frame no se detecte a un objeto existente o que aparezca información errónea indicando la presencia de un objeto que en realidad no existe en la escena.

La estructura del algoritmo de seguimiento es la siguiente:

```

Armar una trayectoria por cada objeto encontrado en el frame 1
Loop
    Adquirir nuevo frame
    Encontrar los objetos
    Actualizar las trayectorias con los nuevos objetos

```

Para solucionar el problema de los objetos no detectados en algún frame, utilizamos "puntos ausentes" para completar sus trayectorias. Las coordenadas de los puntos ausentes se establecen en función a los dos puntos anteriores de la trayectoria.

### 3.4. Función de desviación local

Debido a las características del movimiento de los objetos se busca enlazar los puntos de manera de obtener trayectorias donde la velocidad y dirección del movimiento permanezcan relativamente constantes de un frame al siguiente. Para poder medir la desviación existente en una trayectoria se utiliza una función normalizada al rango [0,1] que llamamos función de desviación local (fdl). La fdl evalúa una trayectoria formada por tres puntos correspondientes a tres frames consecutivos retornando valores más cercanos a 0 cuanto menos cambios de dirección y velocidad existan en el trayecto formado por los tres puntos, y valores más cercanos a 1 a medida que los cambios son más bruscos.

Sean  $P_{i-1}$ ,  $P_i$  y  $P_{i+1}$  tres puntos correspondientes a la ubicación de un objeto en los frames  $i-1$ ,  $i$  e  $i+1$  respectivamente. Los tres puntos determinan dos vectores de desplazamiento que representan los dos movimientos consecutivos del objeto (del frame  $i-1$  al frame  $i$  y del frame  $i$  al frame  $i+1$ ). El módulo de un vector de desplazamiento representa la velocidad del movimiento de un frame al siguiente mientras que el ángulo representa la dirección del movimiento.

sean:

$$v_i = P_{i-1} P_i$$

$$v_{i+1} = P_i P_{i+1}$$

$\theta$  el ángulo que forman los vectores de desplazamiento  $v_i$  y  $v_{i+1}$

$$w_1 = w_2 = 0.5$$

$$fdl'(P_{i-1}, P_i \text{ y } P_{i+1}) = w_1 \cdot \frac{1 - \cos(\theta)}{2} + w_2 \cdot \left[ 1 - \frac{(2 \cdot \text{menor}(|v_i|, |v_{i+1}|))}{|v_i| + |v_{i+1}|} \right]$$

El primer término de la función es sensible a los cambios de dirección mientras que el segundo es sensible a los cambios de velocidad. Los términos  $w_1$  y  $w_2$  son valores entre 0 y 1 que cumplen la condición  $w_1 + w_2 = 1$  y sirven para dar mayor peso a alguna de las dos variaciones.

La siguiente definición de fdl es la que utilizamos en el algoritmo de seguimiento. Considera la presencia de trayectorias formadas por puntos ausentes a los que aún no se les determinó las coordenadas.

$$fdl(P_{i-1}, P_i \text{ y } P_{i+1}) = \begin{cases} fdl'(P_{i-1}, P_i \text{ y } P_{i+1}) & \text{si los tres puntos tienen determinadas} \\ & \text{las coordenadas} \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases} \quad \square \square$$

### 3.5. Función de ganancia

Sean  $P_{i-1}^k, P_i^k, P_{i+1}^k$  los puntos de la trayectoria  $T_k$  correspondientes a los frames  $i-1, i$  e  $i+1$  respectivamente; y  $P_{i-1}^h, P_i^h, P_{i+1}^h$  los puntos de los mismos frames correspondientes a la trayectoria  $T_h$ . La función de ganancia  $G_{kh}^{i+1}$  es una medida de la ganancia que existe al intercambiar entre las trayectorias  $T_k$  y  $T_h$  los puntos del frame  $i+1$  de tal manera que la trayectoria  $T_k$  quede formada por los puntos  $P_{i-1}^k, P_i^k, P_{i+1}^h$  y la trayectoria  $T_h$  por los puntos  $P_{i-1}^h, P_i^h, P_{i+1}^k$ .

$$G_{kh}^{i+1} = dsi_{kh}^{i+1} - dci_{kh}^{i+1}$$

donde  $dsi_{kh}^{i+1}$  representa la desviación existente sin intercambiar puntos y  $dci_{kh}^{i+1}$  representa la desviación intercambiando los puntos del frame  $i+1$

$$\begin{aligned} dsi_{kh}^{i+1} &= fdl(P_{i-1}^h, P_i^h, P_{i+1}^h) + fdl(P_{i-1}^k, P_i^k, P_{i+1}^k) \\ dci_{kh}^{i+1} &= fdl(P_{i-1}^h, P_i^h, P_{i+1}^k) + fdl(P_{i-1}^k, P_i^k, P_{i+1}^h) \end{aligned}$$

### 3.6. Algoritmo

A continuación se presenta un algoritmo que actualiza las trayectorias armadas hasta el frame  $i$  con los puntos encontrados en el frame  $i+1$ .

Sea  $T_1, \dots, T_m$  el conjunto de trayectorias armadas hasta el frame  $i$ ;  $P$  el conjunto de puntos que determinan las coordenadas de los objetos hallados en el frame  $i+1$ ; y  $d_{\max}$  el límite superior que se establece para los vectores de desplazamiento (representa el desplazamiento máximo tolerado de un objeto en dos frames consecutivos). Los pasos a realizar son:

1. A cada trayectoria  $T_k$  se le asocia un punto del conjunto  $P$  que esté a distancia menor a  $d_{\max}$ . En caso de múltiples alternativas se resuelve en forma arbitraria. Un punto de  $P$  debe asociarse como máximo a 1 trayectoria.
2. A cada trayectoria  $T_k$  que no fue asociada a ninguno de los nuevos puntos, asociarle un nuevo punto ausente sin establecerle aún las coordenadas.
3. Por cada punto del conjunto  $P$  que no haya sido asociado a ninguna trayectoria, crear una nueva trayectoria que comience en ese punto.
4. Realizar un intercambio de puntos entre las trayectorias buscando minimizar la desviación local de las trayectorias.
5. Determinar las coordenadas de los nuevos puntos ausentes que existan en las trayectorias.

A continuación se muestra el pseudocódigo del ciclo de intercambio de puntos entre trayectorias cuyo objetivo es minimizar la función de desviación local.

```

FOR t1 = 1 hasta m-1    // iteración sobre las trayectorias
  FOR t2 = t1 + 1 hasta m
    Si se cumple la restricción de dmax
      calcular Gt1_t2 = Ganancia(Tt1 , Tt2)

Tomar Gmax = el par Gt1_t2 de mayor ganancia
Si Gmax > 0
  Intercambiar los puntos entre las trayectorias que determinan
    la ganancia máxima

Repetir el ciclo hasta que no se produzcan mas intercambios

```

Luego de finalizar el ciclo de intercambio, algunas trayectorias pueden haber sido completadas con puntos ausentes. Se determinan entonces las coordenadas de tales puntos en función de los dos puntos previos de la trayectoria. En el caso éstos no existan, se elimina la trayectoria bajo la suposición que fue originada por un "falso punto" del frame previo.

### 3.7. Estimación de trayectorias

Podemos plantear el problema de estimación de trayectorias de la siguiente manera:

Dada una secuencia de puntos  $P_1, P_2, \dots, P_n$  que representa las coordenadas observadas en períodos regulares de tiempo del recorrido realizado por un objeto en movimiento, se pretende estimar  $m$  posiciones futuras  $P_{n+1}, P_{n+2}, \dots, P_{n+m}$  correspondiente a los  $m$  instantes de tiempo futuro  $t_{n+1}, t_{n+2}, \dots, t_{n+m}$ .

Las coordenadas de la trayectoria del objeto fueron obtenidas en los primeros pasos del sistema y sus cálculos están influenciados por la presencia de ruido.

Con el objetivo de modelar el movimiento del objeto en función del tiempo, lo descomponemos en dos funciones,  $\text{posX}(t)$  y  $\text{posY}(t)$ , que representan el movimiento en cada uno de los ejes. Las funciones  $\text{posX}(t)$  y  $\text{posY}(t)$  indican las coordenadas ocupada por el objeto en los ejes  $X$  e  $Y$  respectivamente, en el instante de tiempo  $t$ .



Cuando el movimiento de un objeto es rectilíneo uniforme, su desplazamiento en cada uno de los ejes es una función lineal del tiempo. El problema de predicción de la trayectoria consiste en estimar los valores que tomarán  $\text{posX}(t)$  y  $\text{posY}(t)$  en instantes de tiempo posteriores.

La técnica de regresión lineal permite obtener una buena aproximación de las rectas  $\text{posX}(t)$  y  $\text{posY}(t)$  a partir de las observaciones ruidosas.

Sean  $(t_1, c_1)$ ,  $(t_2, c_2)$ , ...,  $(t_n, c_n)$  los pares (tiempo, coordenada). Deseamos armar una función lineal de la forma:

$$C = b_0 + b_1 T$$

Las siguientes fórmulas obtienen los parámetros  $b_0$  y  $b_1$  que ajustan la recta con el menor error posible a la muestra.

$$b_1 = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad b_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - b_1 \sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Armando las rectas de regresión  $\text{posX}(t)$  y  $\text{posY}(t)$  tenemos una estimación del movimiento del objeto en cada uno de los ejes. Estas rectas permiten estimar la posición que ocupará el objeto en instantes de tiempo posteriores a los analizados.

#### 4. Ambiente de experimentación

El lenguaje de programación utilizado en la implementación de los algoritmos que resuelven el problema es C.

El ambiente de trabajo lo podemos clasificar de acuerdo a la cantidad de PC's utilizada y al origen de los datos. Con respecto a la cantidad de PC's utilizadas para el procesamiento surgen dos esquemas: monoprocésamiento (una PC) o multiprocésamiento (más de una PC). Según el origen de los datos, pueden darse dos situaciones: los datos provienen de un único dispositivo de captura o provienen de múltiples dispositivos.

El esquema de trabajo más sencillo es aquel donde los datos son generados por un solo sensor y el procesamiento se realiza en una sola PC.

Cuando la escena es lo suficientemente grande como para no poder ser capturada por una sola cámara, puede darse la situación de tener múltiples cámaras de captura, donde cada una obtiene una porción del escenario de interés. El conjunto de imágenes capturadas por las cámaras en un instante de tiempo conforma la totalidad de la escena a analizar.

Para el multiprocésamiento la arquitectura de trabajo es un cluster de PC's, utilizando PVM (Parallel Virtual Machine) como herramienta para la comunicación entre procesos. Las imágenes llegan a cada uno de los nodos del cluster mediante un bus especial. En el caso de tener un solo dispositivo de captura, la misma imagen llega a todos los nodos del cluster y cada uno de ellos procesa una porción de la misma, dividiendo así el trabajo a realizar. Si se dispone de múltiples cámaras, lo conveniente es que los datos provenientes de cada cámara se distribuyan sólo entre el subconjunto de nodos que procesará esos datos.

Se utilizan secuencias de imágenes generadas artificialmente para probar los algoritmos en formato mpeg. El comportamiento de un dispositivo de captura real se simula mediante un proceso

que lee un nuevo frame del archivo cada cierto intervalo de tiempo, y lo pone a disposición de los procesos encargados de analizarlo.

## **5. Resultados obtenidos y líneas de trabajo futuro**

Se han implementado y analizado los algoritmos que resuelven el problema bajo el modelo de un solo dispositivo de captura y una PC para el procesamiento. Las pruebas se realizaron con imágenes generadas artificialmente simulando el comportamiento de una cámara real. Esto último simplifica las primeras etapas del sistema, que son las relacionadas con la captura y mejora de los datos.

Actualmente se está migrando la solución secuencial a un esquema de multiprocesamiento utilizando un cluster de PC's. El análisis de cada frame se divide entre las PC's, siendo necesaria la comunicación entre los procesos para coordinar el trabajo conjunto.

El siguiente paso de este trabajo consiste en el estudio de técnicas que permitan estimar otros tipos de movimiento (rectilíneos uniformemente acelerados, circulares, curvilíneos, etc.). Es importante establecer alguna métrica que permita decidir cual modelo de movimiento es conveniente utilizar para realizar la predicción cuando en el escenario analizado existen entidades que se mueven de distintas maneras.

Como un paso posterior, una vez estudiadas las técnicas que permitan estimar diferentes tipos de movimiento, queda pendiente la aplicación de los algoritmos en la resolución de un problema real, donde las imágenes son tomadas de la realidad mediante un dispositivo de captura. Será necesario entonces profundizar en las etapas de captura y mejora de las imágenes capturadas, analizando la calidad de éstas para determinar que algoritmos deben aplicarse con el objetivo de obtener una imagen con las características requeridas para el posterior procesamiento.

## 6. Bibliografía

- [VEE98] A fast and robust point tracking algorithm. C.J. Veenman, E.A. Hendriks, and M.J.T. Reinders. In Proceedings of the Fifth IEEE International Conference on Image Processing, pages 653-657, Chicago, USA, October 1998.
- [VEE01] Resolving Motion Correspondence for Densely Moving Points. C.J. Veenman, M.J.T. Reinders, and E. Backer. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 23, no. 1, pp. 54-72, January 2001
- [PRA91] Digital Image Processing. William K. Pratt. 2da Edición. John Wiley. 1991
- [GAR00] "Seguimiento de Múltiples Objetos: un Enfoque Predictivo". R. Garcia, J. Batlle, Ll. Magí and Ll. Pacheco, Revista Electrónica de Visión por Computador (REVC), no. 1, 2000.
- [GAR01] "Estimating the motion of an underwater robot from a monocular image sequence". R. Garcia, X. Cufí and M. Carreras, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), vol. 3, pp. 1682-1687, Maui, Hawaii, 2001
- [CUF02] "An Approach to Vision-Based Station Keeping for an Unmanned Underwater Vehicle". X. Cufí, R. Garcia and P. Ridao, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), vol. 1, pp. 799-804, Lausanne, Switzerland, 2002.
- [GON96] González R., Woods R., "Digital Image Processing", Addison-Wesley, 1996.
- [AND91], Andrews, "Concurrent Programming", Benjamin/Cummings, 1991.
- [AKL97], Akl S, "Parallel Computation. Models and Methods", Prentice-Hall, Inc., 1997.
- [COF92], Coffin M, "Parallel programming- A new approach", Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1992.
- [COL95], Colección de "IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems", IEEE.
- [ROL00] Paralelización de Algoritmos de Seguimiento de Trayectorias. M.C. Roldán, A. De Giusti, M Naouf. Proceedings del VI Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC 2000), Tierra del Fuego, Argentina. Octubre 2000.